

ANALISIS KEBUTUHAN PEMASANGAN ZINK ANODE UNTUK MENCEGAH KOROSI PADA LAMBUNG KAPAL KAPAL GENERAL CARGO

Bambang Sudjasta¹, Purwo Joko Suranto², Hernia Setiani³

Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta, Jakarta Selatan^{1 2 3}
email¹ : bambangsudjasta58@gmail.com

Abstract

Needs installation of cathodic protection to prevent corrosion of the ship in the sea water medium is a must so that the ships can be used as long as possible, but the effectiveness is very limited lifespan sacrificial anode that time should be right on time. For the replacement timing becomes important to do, hull plate is first exposed areas of sea water. In this area of the hull bottom water or top area of water exposed to corrosion range. Corrosion of hull plates can lead to decline in strength and service life of ships, reducing the ship's speed and reduce safety and security of cargo and passengers. From the calculation of the aluminum anode needs indicated that there is a difference between the life of the anode replacement is supposed to 5.25 years. The number of victims aluminum anode required to ship the object of the research is based on the calculation is 12 pieces (± 44.2 kg), lower than the number of anode installed in the field about 24 pieces (108 Kg). So the amount of victims aluminum anode mounted on General Cargo Ship in the field is redundant with past-year use of 5.25 while the turn is done for 3 years. For the owners of the ship, you should use zinc or magnesium anode victim since both of these materials have an efficiency of 95 % compared to aluminum, is only 50 %.

Keywords: Replacement Sacrificial anodes, corrosion, hull.

PENDAHULUAN

Laut merupakan wilayah yang paling luas dari permukaan dunia. Dan memiliki sifat korosivitas yang sangat agresif. Untuk itu struktur baja kapal yang digunakan sebagai sarana transportasi laut harus mendapatkan proteksi untuk mengendalikan serangan korosi pada lingkungan laut. Sebagian besar kerusakan pelat konstruksi baja kapal adalah disebabkan oleh adanya proses korosi. Akibat korosi ini menimbulkan kerugian material yang cukup besar, sehingga diperlukan proteksi untuk mencegah timbulnya korosi tersebut dengan menggunakan katodik, baik dengan menggunakan metode arus listrik maupun metode anoda tumbal. Namun demikian, walaupun telah diproteksi, masih sering ditemukan baja kapal yang terserang korosi, yang dikarenakan terjadinya reaksi kimia antara logam terkorosi tersebut dengan lingkungannya. Pada dasarnya korosi adalah peristiwa pelepasan elektron-elektron dari logam (besi atau baja) yang berada di dalam larutan elektrolit misalnya air laut. Sedangkan atom-atom yang bermuatan positif dari logam (Fe^{+3}) akan bereaksi dengan ion hydroxyl (OH^-) membentuk ferro hidroksida [$\text{Fe}(\text{OH})_3$] yang dikenal sebagai karat. Berdasarkan segi

konstruksi pada kapal laut, pelat lambung kapal adalah daerah yang pertama kali terkena air laut. Pada daerah lambung ini bagian bawah air ataupun daerah atas air rentan terkena korosi. Korosi pada pelat badan kapal dapat mengakibatkan turunnya kekuatan dan umur pakai kapal, mengurangi kecepatan kapal serta mengurangi jaminan keselamatan dan keamanan muatan barang dan penumpang. Untuk menghindari kerugian yang lebih besar akibat korosi air laut, maka perawatan dan pemeliharaan kapal harus dilakukan secara berkala. Sampai saat ini untuk melindungi pelat badan kapal terhadap serangan korosi air laut masih menggunakan cara yaitu menghindari penyebab korosi.

Perumusan Masalah

Dari latar belakang dan permasalahan di atas dapat dirumuskan permasalahan yaitu:

1. Meninjau proses terjadinya karat dan akibat yang ditimbulkannya.
2. Peranan pemasangan *zink anode* ataupun *aluminium anode* dalam melindungi plat baja lambung kapal.
3. Melakukan analisis perbandingan masing-masing *zink anode* dan *aluminium anode* dari segi umur dan menentukan waktu penggantian

zink anode berdasarkan pada suatu kapal yang sama sehingga akan didapat anoda mana yang lebih baik untuk memperlambat laju korosi pada lambung kapal.

Batasan Masalah

Adapun batasan masalah tersebut sebagai berikut:

1. Membahas tentang analisis ekonomis dan efisiensi dari *zink anode* dan *aluminium anode*.
2. Yang akan dianalisis adalah jenis *zink anode* dan *aluminium anode*.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis tentang korosi (pengkaratan) baik sebab, akibat, dampak, serta pencegahannya.
- b. Meninjau sistem kerja dari *zink anode* dan *aluminium anode* dalam mencegah laju korosi pada lambung kapal.
- c. Mengestimasi jumlah *zink anode* dan *aluminium anode* yang dibutuhkan dalam kilogram berdasarkan periode pemeliharaan (t) dengan luasan permukaan basah (S) pada Kapal General Cargo sehingga kita dapat mengetahui secara ekonomis dan secara teknis anoda mana yang lebih tepat, lebih efektif dan efisien yang akan digunakan.

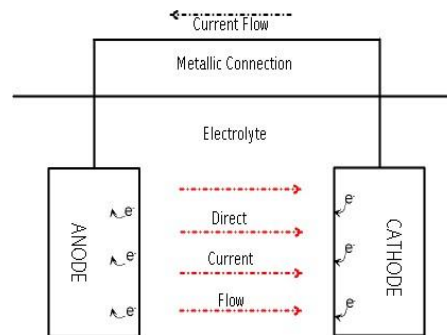
TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Korosi

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Dalam Bahasa sehari-hari korosi disebut perkaratan. Korosi yang menyangkut bahasan berbagai disiplin ilmu, atau dengan kata lain menggabungkan unsur-unsur fisika, kimia, metalurgi, elektronika dan perekayasa. Kebanyakan dari kita yang berkecimpung dalam penanganan korosi sering mempunyai latar belakang salah satu atau beberapa disiplin ilmu utama tetapi tidak semuanya jadi seorang pakar elektronika tidak selalu mendalami aspek-aspek korosi dari segi metalurgi atau rekayasa, sementara pakar metalurgi perekayasa mekanik atau perekayasa struktur tidak harus memahami secara lengkap prinsip-prinsip kelistrikan dibalik suatu uji suatu korosi.

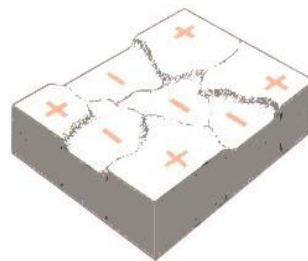
1. Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan.
2. Katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan dalam kondisi tertentu. Dua reaksi yang paling penting dan umum terjadi pada katoda tergantung pH yang bersangkutan yaitu hilangnya logam pada bagian yang terepose. Korosi terjadi dalam

berbagai macam bentuk, mulai dari korosi merata pada seluruh permukaan logam sampai dengan korosi yang terkonsentrasi pada bagian tertentu saja.



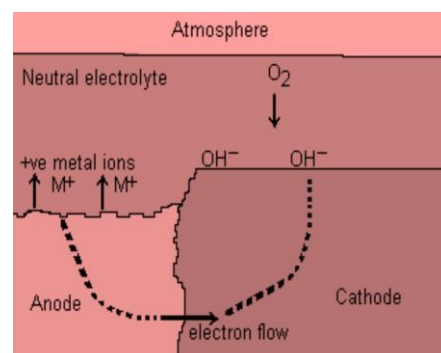
Gambar 1. Mekanisme Korosi

Pada logam yang sama, salah satu bagian permukaannya dapat menjadi anoda dan bagian permukaan lainnya menjadi katoda. Hal ini bisa saja terjadi karena kemungkinan logam terdiri dari fase yang berbeda, karena permukaan logam dilapisi dengan kondisi *coating*.



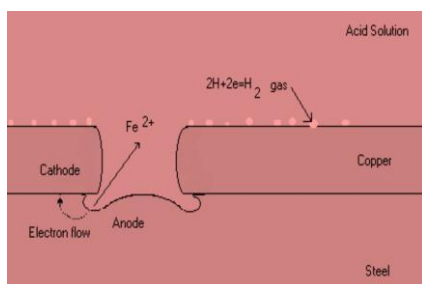
Gambar 2. Korosi pada Permukaan Logam

Logam dapat dicelupkan pada elektrolit atau permukaan logam dapat digenangi oleh elektrolit dan membentuk lapisan tipis. Laju korosi bergantung pada konduktivitas listrik elektrolit. Air murni memiliki konduktivitas listrik yang kurang baik sehingga laju korosi yang terjadi akan lebih rendah jika dibandingkan dengan larutan asam yang memiliki konduktivitas listrik tinggi.



Gambar 3. Reaksi Elektrokimia pada Logam

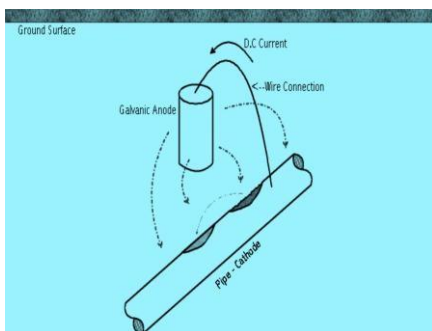
Kemampuan logam untuk menahan korosi biasanya bergantung pada posisi mereka dalam deret elektrokimia.



Gambar 4
Korosi yang terjadi
antara tembaga dan besi/baja

Proteksi Katodik

Proteksi katodik dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menggunakan anoda korban (*sacrificial anode*) dan *impress current* (ICCP). Proteksi katodik dengan anoda korban terjadi saat sebuah logam dihubungkan dengan logam yang lebih reaktif (anoda). Hubungan ini mengarah pada sebuah rangkaian galvanik. Untuk memindahkan korosi secara efektif dari struktur logam, material anoda harus mempunyai beda potensial cukup besar untuk menghasilkan arus listrik.



Gambar 5
Proteksi katodik dengan anoda korban

Penggunaan proteksi katodik secara efektif akan menyediakan proteksi yang baik pada seluruh area permukaan material. Kombinasi *coating* dan proteksi katodik akan memberikan pilihan yang lebih ekonomis dan efektif untuk memproteksi material pada lingkungan tanah dan air laut.

Magnesium

Anoda magnesium biasanya digunakan untuk proteksi katodik pada lingkungan tanah. Terdapat dua buah alloy magnesium yang umum digunakan

pada proteksi katodik yaitu High-Potential Magnesium dan H-1.

Tabel 1. Standar kimia alloy magnesium

High Potential Anode Chemistry Per ASTM B843 Industry Standard for high potential magnesium anodes	
Aluminum	0.01% max
Manganese	0.50 - 1.3%
Copper	0.02% max
Silicon	0.05% max
Iron	0.03% max
Nickel	0.001% max
Others, each	0.05% max
Magnesium	Remainder

Seng

Anoda seng digunakan untuk proteksi katodik pada lingkungan tanah yang memiliki resistivitas rendah, beberapa kondisi air seperti air laut, air payau dan air tawar. Berikut ini merupakan tabel komposisi anoda seng untuk penggunaan pada lingkungan air laut.

Tabel 2. Komposisi anoda seng untuk lingkungan air laut

Element	MIL-A-18001H composition, %	ASTM B 418 Type 1 composition, %
Aluminum	0.10-0.50	0.10-0.4
Cadmium	0.025-0.15	0.03-0.10
Iron ^(a)	0.005	0.005
Lead ^(a)	0.006	...
Copper ^(a)	0.005	...
Silicon ^(a)	0.125	...
Zinc	rem	rem

Aluminium

Anoda aluminium digunakan pada lingkungan air laut dan beberapa kondisi air tawar. Aluminium memiliki umur yang lebih panjang jika dibandingkan dengan magnesium. Aluminium juga memiliki arus dan karakteristik berat yang lebih baik jika dibandingkan dengan seng. Dalam pembuatannya aluminium biasanya dicampur dengan merkuri, antimoni, indium, tin.

Sistem Proteksi Katodik

Sistem proteksi katodik banyak digunakan untuk memproteksi struktur baja yang berada di dalam tanah dan lingkungan air laut, dan sedikit digunakan (pada kondisi tertentu) untuk penempatan baja dalam air tawar. Dalam banyak kasus, penerapan proteksi katodik sering dikombinasikan dengan *coating*. Tujuannya adalah

untuk melindungi baja pada saat *coating* mengalami kerusakan. Pada saat ini, penerapan sistem proteksi katodik telah meningkat secara cepat dengan banyaknya penerapan di area eksplorasi serta produksi minyak dan gas yang berada *dioffshore*.

Metode proteksi ini merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk memproteksi bagian material yang terendam oleh air, terutama air laut.

Sistem Proteksi Katodik Metode Anoda Zink

Proteksi katodik metode anoda zink dapat dilakukan dengan menghubungkan anoda zink terhadap material yang akan diproteksi. Material yang akan diproteksi diatur agar berperan sebagai katoda dalam suatu sel korosi dan pasangan yang dihubungkan adalah logam lain yang memiliki potensial yang lebih negatif sehingga berperan sebagai anoda. Elektron akan mengalir dari anoda ke katoda melalui kabel penghubung sehingga terjadi penerimaan elektron di katoda. Dengan adanya penerimaan elektron tersebut, katoda mengalami reaksi reduksi dan terproteksi dari proses korosi. Berikut adalah lebih penerapan sistem proteksi katodik metode anoda zink.

- Pemasangan relatif mudah dan murah.
- Tidak membutuhkan sumber energi listrik dari luar.
- Distribusi arus merata.
- Cocok untuk daerah berstruktur padat.
- Tidak membutuhkan biaya operasional.
- Perawatan mudah.
- Resiko *overprotection* rendah.

Namun metode ini juga mempunyai beberapa kekurangan sebagai berikut:

- Keluaran arus terbatas.
- Tidak efektif bila resistivitas elektrolit tinggi.
- Tidak cocok untuk struktur besar yang perlu arus proteksi besar.

Sistem proteksi katodik anoda zink biasanya diterapkan pada perlindungan tangki dalam tanah, jaringan pipa dalam tanah, jaringan kabel listrik dan komunikasi dalam tanah, tangki air panas dan struktur kapal laut.

Anoda Zink

Jenis Anoda Zink dan Karakteristiknya

Penentuan material yang digunakan sebagai anoda zink dilakukan berdasarkan kemampuan material tersebut dalam menurunkan potensial logam yang diproteksi mencapai daerah imun dengan cara membanjiri struktur dengan arus searah melalui lingkungan. Faktor lainnya yaitu biayanya murah, mampu dibentuk sesuai ukuran, dan dapat terkorosi secara merata. Anoda zink yang biasa digunakan adalah magnesium (Mg), seng (Zn), dan aluminium (Al).

Tabel 3. Jenis Anoda dengan Resistivitas Lingkungan

Anoda	Resistivitas Lingkungan (ohm/cm)
Aluminium (Al)	< 150
Seng (Zn)	150 - 500
Magnesium (Mg)	> 500

Sumber: Teknik Pengendalian Korosi

Backfill Anoda Zink

Pemakaian anoda zink yang diterapkan untuk proteksi katodik di dalam tanah perlu menggunakan pembungkus yang disebut *backfill*. *Backfill* merupakan kantung kecil yang berisi campuran material dengan komposisi 75% gypsum, 20% bentonit, dan 5% natrium sulfat. Campuran ini menghasilkan resistivitas 50 ohm/cm apabila campuran dijenuhkan dengan air. *Backfill* ini berfungsi untuk memberikan lingkungan yang merata, sehingga luaran (*output*) arus anoda dapat diperkirakan tetap, menurunkan resistivitas dari fasa anoda dengan tanah, dan mencegah kontak langsung antara anoda dengan tanah.

Umur Proteksi

Umur proteksi yang diperlukan sesuai peraturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yaitu 3 tahun karena selama 3 tahun minimal kapal harus *docking* atau naik dok satu kali. Di mana apabila kapal naik dok maka dapat diganti anoda zink yang lama dengan anoda zink yang baru.

Keperluan arus proteksi, dapat dilakukan dengan menggunakan rumus 2.1.

$$A_c = (2H + B) \times L_{bp} \times p \dots (2.1)$$

Dimana *nilai p untuk kapal cargo adalah 0.75*

Menghitung keperluan arus proteksi rata-rata dimana untuk keperluan arus proteksi rata-rata dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$I_c = A_c \times f_c \times i_c \dots (2.2)$$

Di mana:

$$I_c = 0,100 \text{ A/m}^2 \text{ (Diperoleh dengan mengacu pada DNV RPB 401)}$$

$$f_c = k_1 + k_2 \times (t_f/2) \dots (2.3)$$

Menentukan Ukuran Anoda Zink

Anode zink yang dipasang pada Kapal General Cargo adalah anode zink dengan bentuk *elongated flush mounted* tanpa *backfill* dengan dimensi anoda 395 mm x 150 mm x 30 mm (P x L x T) dengan berat netto 4.5 Kg. Penambahan anoda zink 20 %

untuk tempat-tempat kritis dan sebagai faktor keamanan.

$$\text{Jarak} = \frac{\text{Panjang kapal yang tercelup air}}{\text{Jumlah anoda zink}} \quad (2.4)$$



Gambar 6
Contoh aktual jarak antar anoda pada kapal

Sedangkan jumlah anoda zink berdasarkan panjang total kapal yang tercelup air dapat dihitung dengan rumus 2.4.

METODE PENELITIAN

Data Kapal

Kapal yang akan digunakan sebagai benda uji dalam penelitian ini adalah Kapal General Cargo yang masuk dok pada bulan Januari 2017.

Ukuran Utama Kapal General Cargo
Length Over All (Loa): 57,5 m
Length Perpendicular (Lpp): 51,6 m
Breadth (B): 13,5 m Depth (H): 5 m
Draught (T): 2,20 m

Waktu Penggantian Anoda Zink

Kapal tersebut berada di dok pada bulan Januari 2017 sekaligus untuk penggantian anoda zink, di mana anoda zink yang sudah ada telah habis terkorosi (anoda Mg dengan berat total tertentu), dan anoda zink baru yang dipasang adalah anoda aluminium.

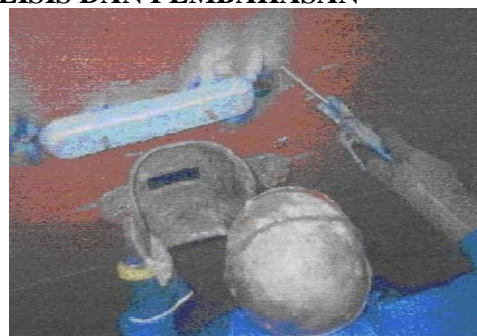
Diagram Alir Penelitian

Diagram alir proses penelitian dapat dilihat pada gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7
Diagram Alir Proses Penelitian

ANALISIS DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Pemasangan Anode Zink

Anode korban pada Kapal General Cargo adalah dengan menggunakan anoda zink *aluminium* dengan bentuk *elongated flush mounted* tanpa *backfill* dengan dimensi anode 395 mm x 150 mm x 30 mm dengan berat netto 4.5 Kg sebanyak 24 buah.

Ukuran Anoda Zink

Anode zink yang dipasang pada Kapal General Cargo adalah anode aluminium dengan bentuk *elongated flush mounted* tanpa *backfill* dengan dimensi anoda: 395 mm x 150 mm x 30 mm (P x L x T) dengan berat netto 4,5 Kg.

- Menentukan jumlah anoda zink.
- Penambahan anoda zink 20 % untuk tempat tempat kritis dan sebagai faktor keamanan.
- Menentukan jarak antar anoda zink.

Data Dan Parameter Perhitungan

Untuk menentukan waktu penggantian anoda zink maka yang harus diketahui sesuai dengan tinjauan pustaka adalah: A_c , i_c , k_2 , k_1 , M , μ dan ϵ . Untuk menentukan harga luas pelat lambung yang akan diproteksi (A_c) sesuai dengan rumus 2.1 yang bergantung pada harga H , B , L_{bp} dan p , sesuai dengan data kapal dimana H (depth) = 5 m, B (Breadth = 13,5 m, L_{bp} (Length Between Perpendicular) = 51,6 m dan nilai p adalah konstanta untuk kapal cargo adalah 0.75. Sehingga diperoleh harga $A_c = 909.45 \text{ m}^2$. Harga kuat arus listrik yang diperlukan (i_c) diperoleh dengan mengacu pada DNV RPB 401 sesuai dengan rumus 2.2 yaitu $i_c = 0,100 \text{ A/m}^2$ (Amper per meter persegi). Mengacu pada rumus 2.3 dan berpedoman pada DNV RPB 401 diperoleh $k_1 = 0,02$, $k_2 = 0,015$ dan $\mu = 0,85$ (rumus 2.4).

Harga kapasitas amper jam per kg anoda korban (ϵ) sesuai dengan material yang digunakan aluminium yaitu 2700 AH/kg. Sedangkan jumlah pemakaian anoda zink (M) yang digunakan sesuai data adalah:

24 buah x 4.5 kg = 108 kg (Eko Julianto Sasono, halaman 4 dan 5). Selanjutnya parameter-parameter tersebut ditampilkan secara ringkas pada tabel 5.

Tabel 5. Data dan Parameter Perhitungan

A_c (m ²)	909.45
i_c (Am/m ²)	0,1
Konstanta k_1	0,85
Konstanta k_2	0,02
M (kg)	2700
Konstanta μ	0,015
ϵ (Ah/kg)	108

Perhitungan Waktu Penggantian Anoda Zink

Berdasarkan pada rumus 2.2, 2.3 dan 2.4, maka dengan mensubstitusi p , H , B , L_{bp} , k_1 , k_2 , μ , dengan memplot harga M sesuai tabel 5 diperoleh waktu penggantian t_f selama 5.25 tahun (63 bulan). Sebagaimana ditunjukkan pada tabel 5.

Selanjutnya dengan menggunakan rumus 2.5. dan 2.6. diperoleh jarak antar anoda zink seperti terlihat pada table 6.

Tabel 6. Jarak antar Anoda

Jumlah	24.01898233
Berat Total (Kg)	108.0854205
Berat Netto (Kg)	4.5
Panjang Tercelup (M)	115
Jarak (M)	4.78787986

Dari hasil perhitungan kebutuhan anode zink diperoleh gambaran bahwa terdapat perbedaan antara waktu penggantian dengan umur anoda yang seharusnya 5.25 tahun.

Verifikasi Kebutuhan Anoda Selama 3 Tahun

Dengan perhitungan yang sama dengan bab 4.2 di atas diperoleh kebutuhan jumlah anoda zink Al sebanyak 12 buah yang jauh di bawah yang diterapkan sebagaimana ditunjukkan oleh tabel 7.

Tabel 7. Jumlah kebutuhan anoda untuk 3 tahun

ϵ (Ah/kg)		t_f	c	M (kg)
2700	0.85	3	8750	44.209375

Analisis Umur Pakai Material Anoda Zink

Jika persamaan 2.3 disubstitusi persamaan 2.2 selanjutnya persamaan 2.2 disubstitusikan lagi ke persamaan 2.4 maka akan diperoleh hubungan antara fungsi waktu dengan parameter-parameter tabel 4. Berdasarkan hasil substitusi tersebut diperoleh hubungan:

$$t_f = \left[\left(\frac{k_1}{k_2} \right)^2 \left(\frac{\epsilon \mu M}{4380 A_c i_c k_2} \right) \right]^{0.5} - \left(\frac{k_1}{k_2} \right)$$

Dari hubungan tersebut umur ketiga anoda zink (Al, Zn dan Mg) untuk $M = 108 \text{ kg}$ diperoleh umur (t_f) masing-masing seperti pada table 4.

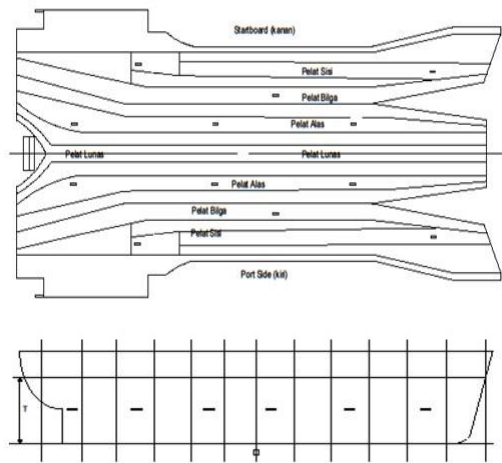
Analisis Kebutuhan Berat Total Material Anoda Zink Untuk Waktu 3 Tahun

Dengan menggunakan rumus sub bab 2.5 di atas dengan plotting waktu 3 tahun, maka jumlah anoda zink yang diperlukan untuk setiap anoda zink sebagaimana terlihat pada tabel 6.

Berdasarkan tabel 6, dapat dilihat bahwa untuk waktu pemakaian yang sama terdapat perbedaan jumlah total anoda zink yang berbeda secara signifikan. Perbandingan tersebut adalah:

$$\text{Al} : \text{Zn} : \text{Mg} = 1 : 3.5 : 2$$

Berikut ini sebagai ilustrasi letak anoda pada kapal yang menjadi obyek penelitian (Gambar 8).



Gambar 8

Pandangan atas dan samping sebagai ilustrasi letak pemasangan anoda zink untuk Al sesuai perhitungan berjumlah 12 buah.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Umur anoda zink adalah berbanding lurus dengan berat total anoda zink dan Kapasitas Amper jam/kg sehingga makin besar kapasitas amper jam/kg suatu anoda zink makin lama pula umur pemakaiannya.
2. Dari hasil perhitungan di mana jumlah anode zink aluminium yang dibutuhkan pada Kapal General Cargo berdasarkan perhitungan adalah
 1. 12 buah (± 44.2 Kg), lebih rendah dibandingkan dengan jumlah anode yang dipasang di lapangan sekitar 24 buah (108 Kg).
 2. Sehingga jumlah anode korban aluminium yang dipasang pada Kapal General Cargo di lapangan adalah berlebihan dengan masa penggunaan sekitar 5,25 tahun sementara penggantian yang akan dilakukan selama 3 tahun berikutnya.
 3. Secara teknis, sebaiknya menggunakan anode zink Mg bukan Zn walaupun kedua material tersebut memiliki efisiensi 95% dibanding aluminium, hanya 50%. Namun kapasitas amper jam/kg Mg adalah lebih besar dari pada Zn yaitu 1230 Ah/kg dibanding Zn adalah yang paling kecil yaitu hanya 780 Ah/kg. Namun untuk pertimbangan lingkungan sebaiknya menggunakan Zn mengingat Zn memiliki resistivitas lingkungan yang moderat yaitu berada di antara Al dan Mg.
 4. Untuk menentukan pilihan anoda zink yang dikaitkan dengan biaya yang harus dikeluarkan, maka perbandingan umur

pakai dari hasil perhitungan ini dapat dijadikan sebagai pedoman.

DAFTAR PUSTAKA

- BKI, 2014, *Rules Volume II* Section 38.
- D. Binkoosky, 2003, *Technology of Ship Repairing*, Moscow.
- Det Norske Veritas (DnV) RP-B401, 2003, *Cathodic Protection Design*. Oslo.
- Hoang Thi Bich Thuy, Phan Luong Cam, 2006, *Performance of The Zinc Sacrificial Anode in Concrete Environment*, Corrosion and Protection Research Center, Hanoi University of Technology, Vietnam.
- James B. Bushman PE, 2007, *Galvanic Anode Cathodic Protection System Design*, Principal Corrosion Engineer, Bushman and Associates, Inc, Medina, Ohio, USA.
- Jinglei Zhang, Gongyu Guo, Keliang Sun, Baorong Hou, 2007, *Electrochemical Evaluation of Dissolution Characteristics of All Based Sacrificial Anodes in Seawater*, Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao.
- Kjernsmo Dag, Kleven Kjell, Schele Jan, 2003, *Corrosion Protection*, Frosio, Denmark.
- Suratman Rochim, 2005, *Teknologi Perlindungan Logam*, Seminar Nasional: Aplikasi Teknologi Perlindungan Logam di Industri, Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Jenderal Ahmad Yani Bandung.
- Talavera M.A, Valdez S, Juarez-Islas JA, Mena B. Genesca J, 2002, *EIS Testing of New Aluminium Sacrificial Anodes*, Journal of Applied Electrochemistry, 32: 897–903.